

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力された目標針路と現在の自船針路との差分が零になるように舵角を調節する手段を備えた自動操舵装置において、

自船船速および船体特性にしたがって自船針路から目標針路に向かう軌跡が円弧を描く旋回半径および旋回角速度に関する値を演算する手段と、演算された値を表示する手段とを備えた自動操舵装置。

【請求項 2】 前記船体特性は、船速および舵角に対応する旋回特性および追従特性である請求項 1 記載の自動操舵装置。

【請求項 3】 前記旋回半径および旋回角速度に関する値は前記軌跡が円弧になる限界値を含む請求項 1 または 2 記載の自動操舵装置。

【請求項 4】 旋回半径および旋回角速度を手動操作により入力する手段と、この入力する手段に入力された旋回半径および旋回角速度が前記限界値の範囲内であることを照合する手段とを備えた請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の自動操舵装置。

【請求項 5】 前記演算する手段により演算された旋回半径および旋回角速度を自動的に入力する手段を備えた請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の自動操舵装置。

【請求項 6】 旋回半径および旋回角速度の値に応じた組合せが多数記録されたテーブルと、前記演算する手段により演算された値に適合するこのテーブルの一つを自動的に選択し入力する手段とを備えた請求項 5 記載の自動操舵装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】本発明は船舶の自動操舵に利用する。本発明は掃海艇に利用するに適する。特に、旋回中または旋回後の針路安定化技術に関する。先願（特願平 6 - 2 6 0 6 3 8 号、本願出願時に未公開）の改良技術に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】従来の自動操舵装置は、目標針路をマニュアルで設定して、現在の自船針路との方位偏差が“0”になるように船を自動操舵する。このとき、当初の方位偏差が大きいときは、指令舵角は大きな値が出力されるためリミッタが設けてあり、ある規定値以上の値については、実際の船の操舵に規定以上の負荷がかからないようにしてある。

【 0 0 0 3 】リミッタの出力がアクチュエータに伝わり実舵角が出力され外乱要素と加え合わされた後、船体の舵に伝えられる。船の運動は、ジャイロコンパスにより方位角として測定される。

【 0 0 0 4 】従来の自動操舵装置では、大きな方位偏差の目標針路を設定するとリミッタの限界値にしたがって旋回を行うため、変針後は、定常偏差およびオーバーシュートが発生し滑らかな自動変針を実現することがで

きない。

【 0 0 0 5 】このことは、浮遊する障害物その他の回避すべき海域が存在するとき、当初に予測した旋回軌道と異なる軌道を実際には通過する可能性があり、安全変針を実現できないという点で大きな問題がある。そのために、このような海域での変針には、自動操舵装置に頼らずに操舵手の負担による変針を行う必要が生じ、操舵手への負担が大きくなる。

【 0 0 0 6 】そこで本願出願人は、特願平 6 - 2 6 0 6 3 8 号（本願出願時に未公開）により、この問題を解決するための提案を行った。この提案を図 6 および図 7 を参照して説明する。図 6 は先願の装置を説明するための図である。図 7 は運動系座標を示す図である。この提案によれば、図 6 に示すように、目標針路とともに回転半径および旋回中心を平面座標軸上にあらかじめ蓄積情報として設定する。その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節する。

【 0 0 0 7 】これにより、滑らかで安定な自動変針を実現することができるとともに、変針コースを正確に予測することができる。さらに、自動変針時の無駄な動きを低減させ消費燃料の節約をはかることができる。特に、定半径、定速度旋回の自動化により掃海艇のような目的の艦艇において、効果的な掃海業務を遂行することができる。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】従来例の問題点を図 8 を参照して説明する。図 8 は従来例の問題点を示す図である。本願出願人が提案した技術は前述したように優れた技術であるが、定速度旋回および定半径旋回を行うときに、図 8 に示すように、指令定速度（指令ターンレート）および指令旋回半径を航海士などの情報入力を担当する者が船体特性に見合った値を多くの測定情報および経験または勘により決定し手動で入力していた。このことは、航海士に過大な負担をかけることになり、正確で安全な変針実現上、大きな問題となる。

【 0 0 0 9 】例えば、担当航海士が船体特性を無視し、船速が高速であるにも係わらず、旋回特性および追従特性の能力を越えた小さい指令旋回半径を入力すれば、船体はその指令に追従することができず、航海士の予想に反し円弧を描かずに旋回を行うことになる。

【 0 0 1 0 】したがって、本願出願人が提案した技術を有効に利用するためには、情報入力を担当する者の経験または勘による指令定速度および指令旋回半径の正確な入力が重要な要素になる。これでは、自動変針を目的とする自動操舵装置としては不充分であるといわざるをえない。

【 0 0 1 1 】本発明はこのような背景に行われたものであり、情報入力を担当する者に定旋回半径、定速度などの情報を提供することにより正確で安全な自動変針を実現することができる自動操舵装置を提供することを目的

とする。本発明は、自動変針のための情報を迅速に入力することができる自動操舵装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】本発明は、入力された目標針路と現在の自船針路との差分が零になるように舵角を調節する手段を備えた自動操舵装置である。

【 0 0 1 3 】ここで、本発明の特徴とするところは、自船船速および船体特性にしたがって自船針路から目標針路に向かう軌跡が円弧を描く旋回半径および旋回角速度に関する値を演算する手段と、演算された値を表示する手段とを備えたところにある。

【 0 0 1 4 】前記船体特性は、船速および舵角に対応する旋回特性および追従特性であることが望ましい。

【 0 0 1 5 】前記旋回半径および旋回角速度に関する値は前記軌跡が円弧になる限界値を含むことが望ましい。

【 0 0 1 6 】旋回半径および旋回角速度を手動操作により入力する手段と、この入力する手段に入力された旋回半径および旋回角速度が前記限界値の範囲内であることを照合する手段とを備えることが望ましい。

【 0 0 1 7 】前記演算する手段により演算された旋回半径および旋回角速度を自動的に入力する手段を備えた構成とすることもできる。

【 0 0 1 8 】このとき、旋回半径および旋回角速度の値に応じた組合せが多数記録されたテーブルと、前記演算する手段により演算された値に適合するこのテーブルの一つを自動的に選択し入力する手段とを備えることが望ましい。

【 0 0 1 9 】

【作用】これから自動操舵装置に針路の変更を指示しようとするとき、現時点での船速および船体特性にしたがって、目標針路に向かう軌跡が円弧を描きうる旋回半径および旋回角速度を演算する。例えば、この演算結果は、円弧を描きうる旋回半径の最小値であり、あるいは、円弧を描きうる旋回角速度の最大値である。データを入力する者は、この演算結果を参考にして、例えば、旋回半径を設定するときは、この演算結果以下にはならないように設定し、旋回角速度を設定するときは、この演算結果以上にはならないように設定すればよい。さらに、データを入力する者が、演算結果を無視したデータを入力しようとするとき、これに対して警報を発するようにしてもよい。

【 0 0 2 0 】あるいは、経験則または論理的な方法により設定された旋回半径および旋回角速度の組合せのテーブルを設け、演算結果にしたがってこのテーブルからデータを選択し、これを自動的に入力するようにしてもよい。

【 0 0 2 1 】これにより、船速および船体特性を無視したデータ入力を回避することができるため、自動変針による軌跡はあらかじめ予想されているとおりの軌跡を描

き、予想外の軌跡を描いて海上にある障害物に接触するような事態を回避することができる。

【 0 0 2 2 】ここで、船体特性とは、例えば、船速がどのくらいのとき、舵角がどのくらいならばどのくらいの旋回角速度で旋回できるかというデータや、あるいは、円弧を描いて旋回するためには、どのくらいの船速でどのくらいの舵角が必要であるかといった船体の運動性能に基づくデータによる特性である。

【 0 0 2 3 】

【実施例】

（第一実施例）本発明第一実施例の構成を図 1 を参照して説明する。図 1 は本発明第一実施例装置のブロック構成図である。

【 0 0 2 4 】本発明は、入力された目標針路と現在の自船針路との差分が零になるように舵角を調節する手段としての自動変針オートパイロット部 4 を備えた自動操舵装置である。

【 0 0 2 5 】ここで、本発明の特徴とするところは、自船船速および船体特性にしたがって自船針路から目標針路に向かう軌跡が円弧を描く旋回半径および旋回角速度に関する値を演算する手段としての推定演算部 1 および有効支援情報変換部 2 を備えたところにある。前記船体特性は、船速および舵角に対応する旋回特性および追従特性である。

【 0 0 2 6 】次に、本発明第一実施例の動作を説明する。船体運動推定演算部 1₁ によりジャイロコンパス出力の方位角 ψ を推定し、これを【外 1】として船体パラメータ推定演算部 1₁ にわたし、

【 0 0 2 7 】

【数 1】

$$\hat{\phi} = h \hat{X}$$

として使用する。ここで船体パラメータ【外 2】、【外 3】の推定演算を行い、この結果を船体特性指数変換部 1₁ にわたす。

【 0 0 2 8 】

【外 1】

$$\hat{\phi}$$

【 0 0 2 9 】

【外 2】

$$\hat{a}$$

【 0 0 3 0 】

【外 3】

$$\hat{\beta}$$

ここで、船体特性を表す追従性指数 T_v と旋回性指数 K_v の推定値に変換し、有効支援情報変換部 2 にわたされる。

【 0 0 3 1 】ここで、航海士などの情報入力を担当する者に必要な定旋回半径指令値 R_r^{-1} と定旋回速度【外 4】を演算し、表示部 2 に提供する。

【 0 0 3 2 】

【外 4】

 $\dot{\phi}$

図 1 に示すように、自動変針オートパイロット部 4 は、従来例で既に示した先願発明の図 6 に同じである。自動変針オートパイロット部 4 では、航海士から手動入力された旋回半径 R_T^{-1} と定速度（定ターンレート）【外 4】を受け、新しい方位 ψ_{e1} に定旋回半径 R_T^{-1} と定速度【外 4】で自動変針を行う部分である。本発明第一実施例は、推定演算部 1、有効支援情報変換部 2、表示部 3 からなり、入力操作部 5、自動変針オートパイロット 10

$$\frac{d}{dt} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{F}(\hat{\theta}) \hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}(\hat{\theta}) \mathbf{U}_s(\hat{\mathbf{x}}) + \mathbf{K}_x (\mathbf{y} - \mathbf{h} \hat{\mathbf{x}}) \quad \cdots (1)$$

ここで

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \hat{\phi} \\ \hat{\dot{\phi}} \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

$$\mathbf{F}(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} -\hat{\alpha} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

$$\mathbf{B}(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (4)$$

$$\mathbf{K}_x = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_j \\ \mathbf{K}_s \end{bmatrix} \quad \cdots (5)$$

$$\mathbf{y} = \phi_m \quad \cdots (6)$$

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \end{bmatrix} \quad \cdots (7)$$

$$\mathbf{h} = [0 \quad 1] \quad \cdots (8)$$

である。以上で【外 5】はターンレート【外 6】の推定値、【外 1】は方位角 ψ の推定値で (1) 式のカルマンフィルタ出力である。そして、【外 2】、【外 3】は船体パラメータ α 、 β の推定値で、 \mathbf{K}_x はカルマンフィルタゲインである。

【0 0 3 5】

【外 5】

 $\dot{\phi}$

部 4 は従来と同じである。

【0 0 3 3】本発明第一実施例の動作を図 2 および図 3 を参照して説明する。図 2 および図 3 は本発明第一実施例の動作を示すフローチャートである。推定演算部 1 について説明する。推定演算部 1 の船体運動推定演算部 1 1 では、カルマンフィルタにより船体運動状態である方位角、ターンレートを推定する。推定式は、

【0 0 3 4】

【数 2】

【0 0 3 6】

【外 6】

 $\dot{\phi}$

測定値 y は、ジャイロコンパス出力 ψ_e を用いる。 \mathbf{h} は観測行列である。 \mathbf{K}_x は次の方程式の解より得られる。

【0 0 3 7】

【数 3】

$$K_x = P_{\tilde{x}} h^T R_v^{-1} \quad \dots (9)$$

$$\frac{d}{dt} P_{\tilde{x}} = F(\hat{\theta}) P_{\tilde{x}} + P_{\tilde{x}} (F(\hat{\theta}))^T + Q_w - P_{\tilde{x}} h^T R_v^{-1} h P_{\tilde{x}} \quad \dots (10)$$

ただし、 $P_{\tilde{x}}$ は \tilde{x} の指定誤差、 \tilde{x} の共分散行列

$$P_{\tilde{x}}(0) = P_{\tilde{x}_0} \quad (P_{\tilde{x}} \text{ の初期値}) \quad \dots (11)$$

$$Q_w = \begin{bmatrix} q_w & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad q_w : \text{白色性入力ノイズの分散} \quad \dots (12)$$

$$R_v = r_v \quad r_v : \text{観測ノイズ (白色) の分散} \quad \dots (13)$$

ここでの〔外 7〕は次の船体パラメータ推定演算部 1₂ により得る。 【0039】 【外 7】

【0038】船体パラメータ推定演算部 1₂ では、船体特性（旋回性、追従性）を支配するパラメータである θ 【0040】
 (α, β) を次のカルマンフィルタにより推定する（S 【数 4】
 1）。

$$\frac{d}{dt} \hat{\theta} = G \hat{\theta} + k_{\theta} (y - h \hat{x}) \quad \dots (14)$$

ここで

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$k_{\theta} = \begin{bmatrix} k_{\alpha} \\ k_{\beta} \end{bmatrix}$$

であり、カルマンフィルタゲイン k_{θ} は次式の解である。

$$k_{\theta} = P_{\tilde{\theta}} h^T R_v^{-1} \quad \dots (15)$$

$$\frac{d}{dt} P_{\tilde{\theta}} = G P_{\tilde{\theta}} + P_{\tilde{\theta}} G^T - P_{\tilde{\theta}} h^T R_v^{-1} P_{\tilde{\theta}}$$

ただし、 $P_{\tilde{\theta}}$ は $\tilde{\theta}$ の指定誤差、 $\tilde{\theta}$ の共分散行列

船体特性指数変換部では、推定された特性パラメータ 【0041】
 〔外 7〕より船体特性指数である旋回性指数 K_v 、追従性指数 T_v の推定値を求める。 【数 5】

$$\hat{T}_v = \frac{1}{\hat{\alpha}} \quad \dots (16)$$

$$\hat{K}_v = \hat{T}_v \hat{\beta} \quad \dots (17)$$

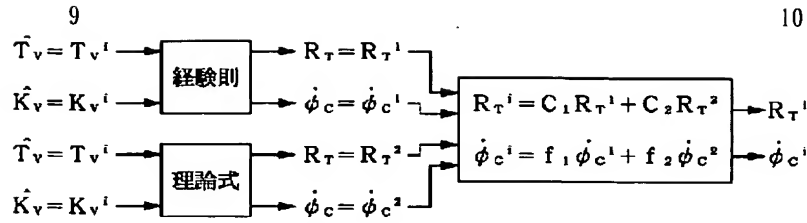
この T_v 、 K_v 値は船の特性により変わる値であり、積荷の変化によっても変わる（S 2）。 【外 8】

【0042】有効支援情報変換部 2 では、船体特性指数変換部 1₂ により得られた船体特性指数〔外 8〕、〔外 9〕より、定旋回半径 R_1^{-1} 、〔外 4〕を経験則あるいは理論的に求めて現在の船舶に適した R_1^{-1} 、〔外 4〕を表示部 3 に出力する（S 3～S 8）。 【0045】 【数 6】

【0043】

\hat{T}_v

\hat{K}_v



理論式による導出は図7に従い次式に基づく。

$$m \left(\frac{d}{dt} u - V \dot{\phi} \right) = X \quad \dots (18)$$

$$m \left(\frac{d}{dt} V + u \dot{\phi} \right) = Y \quad \dots (19)$$

理想定速度（定ターンレート）、定半径旋回するとき（釣合旋回時）は、

$$V = 0 \quad \dots (20)$$

$$\frac{d}{dt} u = 0 \quad \dots (21)$$

となるので、(19)式より

$$u \dot{\phi} = \frac{Y}{m} = R_T (\dot{\phi})^2 \quad \dots (22)$$

が得られる。

【0046】

20 【数7】

また(1)式より

$$\frac{d}{dt} \dot{\phi} = -\hat{\alpha} \dot{\phi} + \hat{\beta} u_s \quad \dots (23)$$

が得られる。ここで定速度旋回では、

$$\frac{d}{dt} \dot{\phi} = 0 \quad \dots (24)$$

となるので

$$\hat{\alpha} \dot{\phi} = \hat{\beta} u_s \quad \dots (25)$$

が得られる。

【0047】

【数8】

あるいは、

$$\left(\frac{1}{\hat{T}_v} \right) \dot{\phi} = \left(\frac{\hat{K}_v}{\hat{T}_v} \right) u_s \quad \dots (26)$$

である。よって(26)式より指令定速度 $\dot{\phi}_c^2$ は、

$$\dot{\phi}_c^2 = \hat{K}_v u_s^j \quad \left. \begin{array}{l} (u_s^1 = \text{小半径旋回指令舵角} \sim \\ u_s^2 = \text{中半径旋回指令舵角} \sim \\ u_s^3 = \text{大半径旋回指令舵角；船体特性} (\hat{T}_v, \hat{K}_v) \\ \text{に見合った} u_s^j \text{をメモリテーブルより参照}) \end{array} \right\} \quad \dots (27)$$

$$\left. \begin{array}{l} (\hat{T}_v, \hat{K}_v) = (T_v^1, K_v^1) \rightarrow \text{小型船} \rightarrow (u_s^j = u_s^1) \\ \text{あるいは} \\ (\hat{T}_v, \hat{K}_v) = (T_v^2, K_v^2) \rightarrow \text{やや小型船} \rightarrow (u_s^j = u_s^2) \\ \vdots \\ (\hat{T}_v, \hat{K}_v) = (T_v^n, K_v^n) \rightarrow \text{大型船} \rightarrow (u_s^j = u_s^n) \end{array} \right\} \quad \dots (28)$$

メモリテーブル化

また、指令旋回半径 R_T^2 は釣合旋回式

$$u \dot{\phi} = R_T (\dot{\phi})^2 \quad \dots (29)$$

より

$$R_T^2 = u / \dot{\phi}_c^2 \quad \dots (30)$$

11

と求まる。uは旋回進入時の速度であり航法機器出力である。

【0048】そして、 R_T^{-1} は R_1^{-1} と R_2^{-1} の重みつけの和で表されて、〔外4〕も〔外10〕と〔外11〕の重みつけの和で表される。

【0049】

〔外10〕

$$R_T^{-1} = C_1 R_1^{-1} + C_2 R_2^{-1} \quad \dots (31)$$

$$\dot{\phi}_c^{-1} = f_1 \dot{\phi}_c^{-1} + f_2 \dot{\phi}_c^{-2} \quad \dots (32)$$

C_1 、 C_2 、 f_1 、 f_2 は経験則優先のときは、

$$C_1 = 1, C_2 = 0 \quad \dots (33)$$

$$f_1 = 1, f_2 = 0 \quad \dots (34)$$

となり、理論式優先のときは

$$C_1 = 0, C_2 = 1 \quad \dots (35)$$

$$f_1 = 0, f_2 = 1 \quad \dots (36)$$

となる。また、両方を考慮するとき、航海士の判断に応じて決める。

【0052】表示部3では、有効支援情報変換部2で得られた定旋回半径 R_T^{-1} と定速度指令値は、表示部3に送られ航海士に提供される。

【0053】航海士はこの R_T^{-1} と〔外4〕を入力操作部5より手動入力する(S9)。これ以降は従来例に同じである。

【0054】 R_T^{-1} 、〔外4〕を決める際の経験優先度L、d値の設定は、ファジールールに基づいて決定しても同等の効果もしくは、より航海士の好みに適した R_T^{-1} 、〔外4〕を決めることができる。

【0055】このとき、表示部3に表示された情報からみて入力された情報が明らかに入力の誤りであると判断できるとき、入力者に対して警報を発するようにしてもよい。

【0056】(第二実施例)本発明第二実施例を図4および図5を参照して説明する。図4は本発明第二実施例装置のブロック構成図である。図5は本発明第二実施例の動作を示すフローチャートである。

【0057】本発明第一実施例では、情報入力を担当する者により入力されていた情報を本発明第二実施例では、自動的に入力する。本発明第二実施例の特徴である指令旋回半径および旋回速度決定テーブル6について説明する。

【0058】推定演算部1より〔外8〕、〔外9〕の値を受けとったら、図4に示すように、〔外8〕、〔外9〕の値の大きさにより2次元配列の中の対応位置を決める。例えば、

【0059】

〔数10〕

$$\hat{K}_v = \hat{K}_{v1}, \hat{T}_v = \hat{T}_{v1}$$

12

 $\dot{\phi}_c^{-1}$

【0050】

〔外11〕

 $\dot{\phi}_c^{-2}$

【0051】

〔数9〕

20

のときは順位を決めるべき配列位置は(1, 1)をとる。この(1, 1)に対応する(R_T^{-1} 、〔外6〕)の値は〔外12〕となる。

【0060】

〔外12〕

(R_T^{-1} 、 $\dot{\phi}_c^{-1}$)

30

ただし、この(R_T^{-1} 、〔外6〕)の値は船速によっても変わるので、ここでは船速テーブルにしたがった船速の分だけ(R_T^{-1} 、〔外6〕)テーブルを用意する。したがって、図5に示すように、船速が $u = u_1$ のとき、(R_T^{-1} 、〔外6〕)テーブルは、 $NO = 1$ の(R_T^{-1} 、〔外6〕)テーブルより〔外8〕、〔外9〕値に応じた(R_T^{-1} 、〔外6〕)を決定する(S11~S13)。

【0061】なお、〔外8〕、〔外9〕と船速uに対応した(R_T^{-1} 、〔外6〕)は前もってシミュレーションにより決定しておきテーブル化する。このテーブルはすべてプロセッサのメモリ空間に書き込まれたものである。本発明第二実施例では、必要とするメモリ空間のサイズは、

$$[(n \times n) \times L + (n \times n)] \times 2 + L$$

40

だけのデータ記憶サイズとなる。例えば、 $n = 100$ 、 $L = 50$ とすると、1ワード=16bit=2byteのプロセッサとすると、メモリサイズは約2メガバイトとなり現在のプロセッサの性能からすると充分に実現可能である。

【0062】このようにテーブルで決定された

(R_T^{-1} 、〔外4〕)は自動的に自動変針オートパイロット部3に入力される(S10)。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、航海士にその船の特性および航海士の特性に適した定旋回半径、定旋回速度を提供することにより旋回時の航海

50

士への負担を大きく軽減できる。これにより、安全でよりスムーズな旋回を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明第一実施例装置のブロック構成図。

【図 2】 本発明第一実施例の動作を示すフローチャート。

【図 3】 本発明第一実施例の動作を示すフローチャート。

【図 4】 本発明第二実施例装置のブロック構成図。

【図 5】 本発明第二実施例の動作を示すフローチャート。

【図 6】 先願の装置を説明するための図。

【図 7】 運動系座標を示す図。

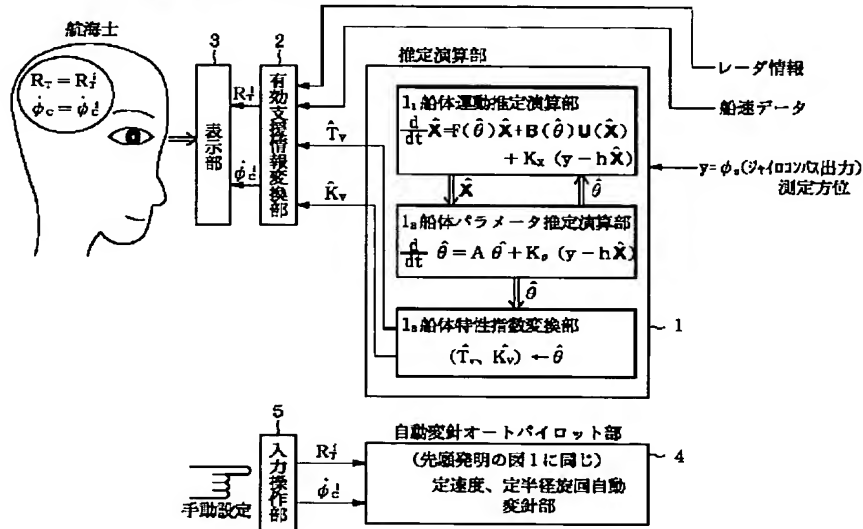
【図 8】 従来例の問題点を示す図。

【符号の説明】

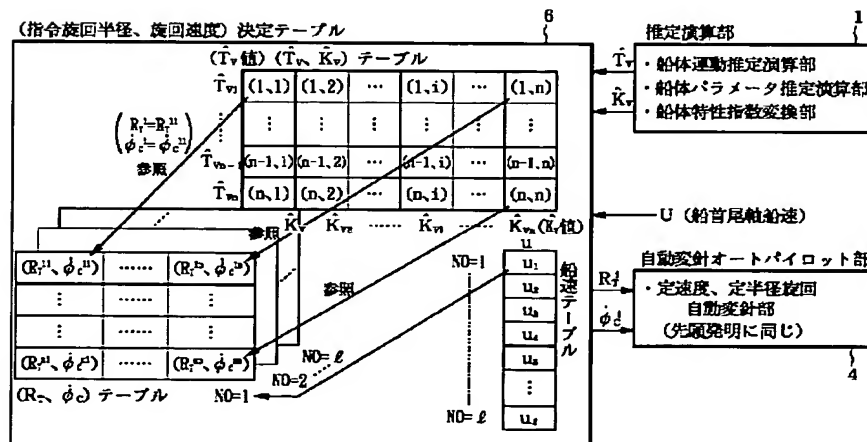
- 1 推定演算部
- 2 有効支援情報変換部
- 3 表示部
- 4 自動変針オートパイロット部
- 5 入力操作部
- 6 指令旋回半径および旋回速度決定テーブル

【図 1】

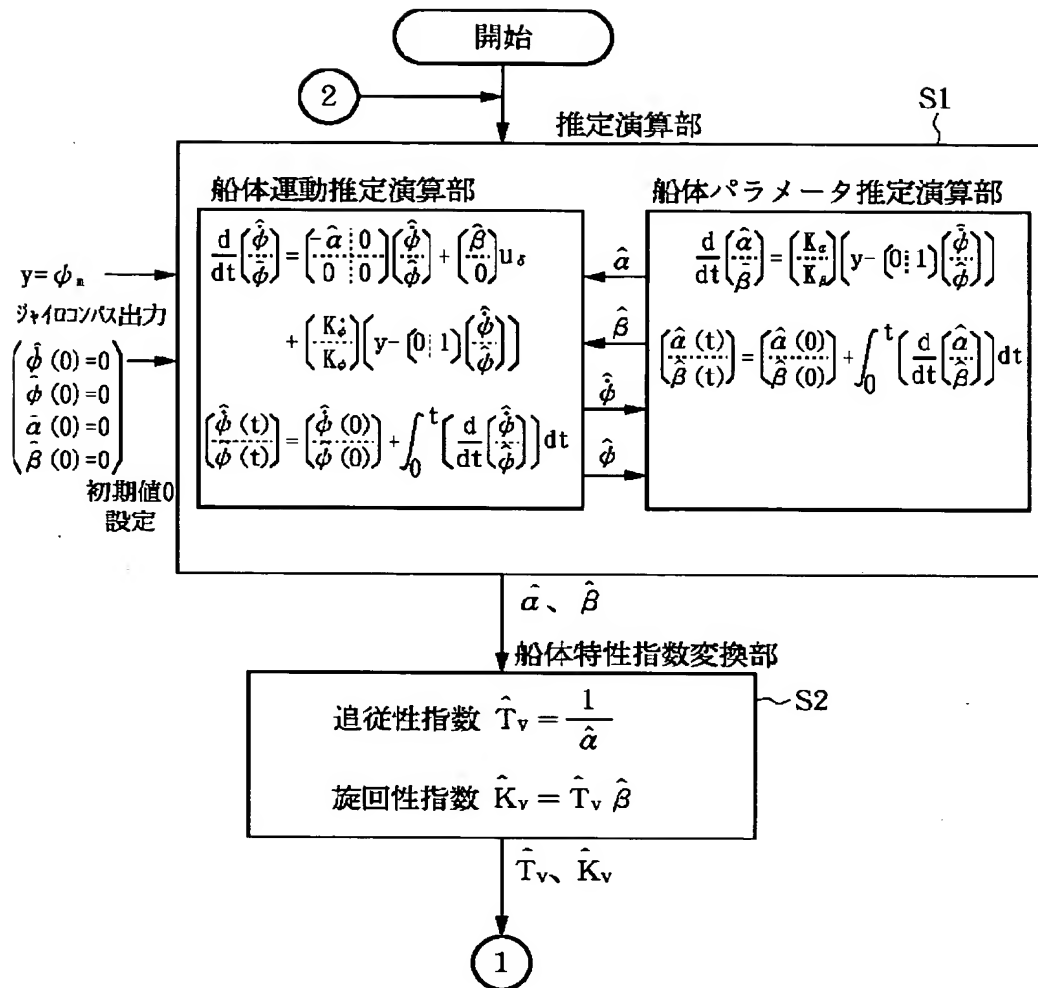
発明例（有効支援情報に基づく定速度 ϕ_c 、定旋回半径 R_T の決定）



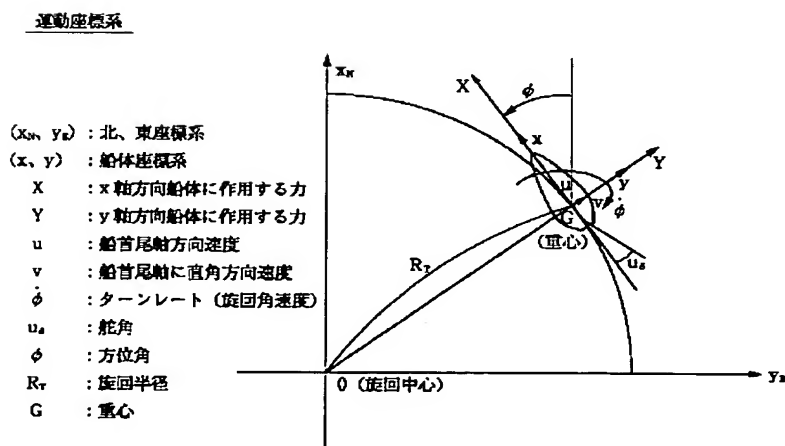
【図 4】



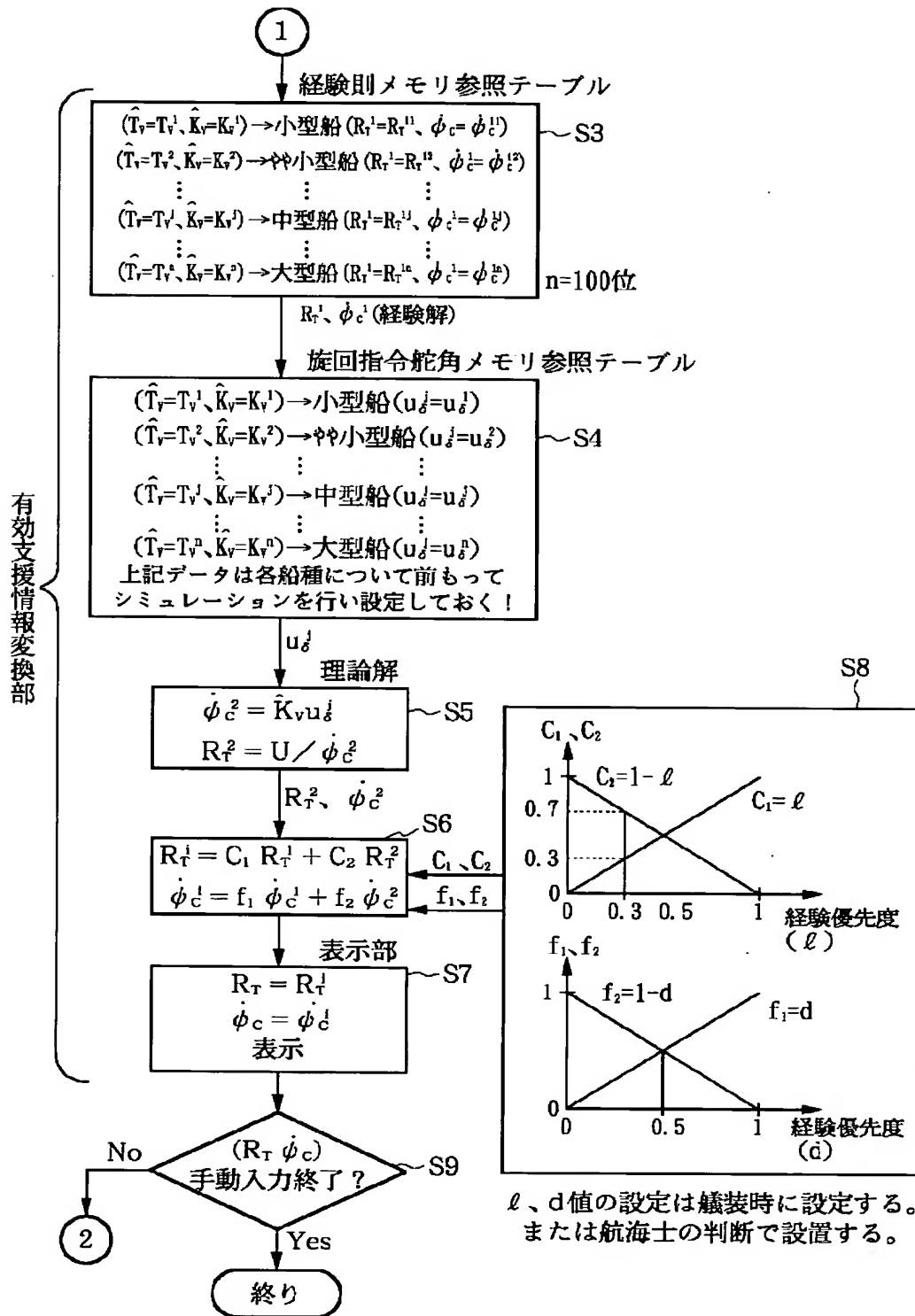
【図 2】



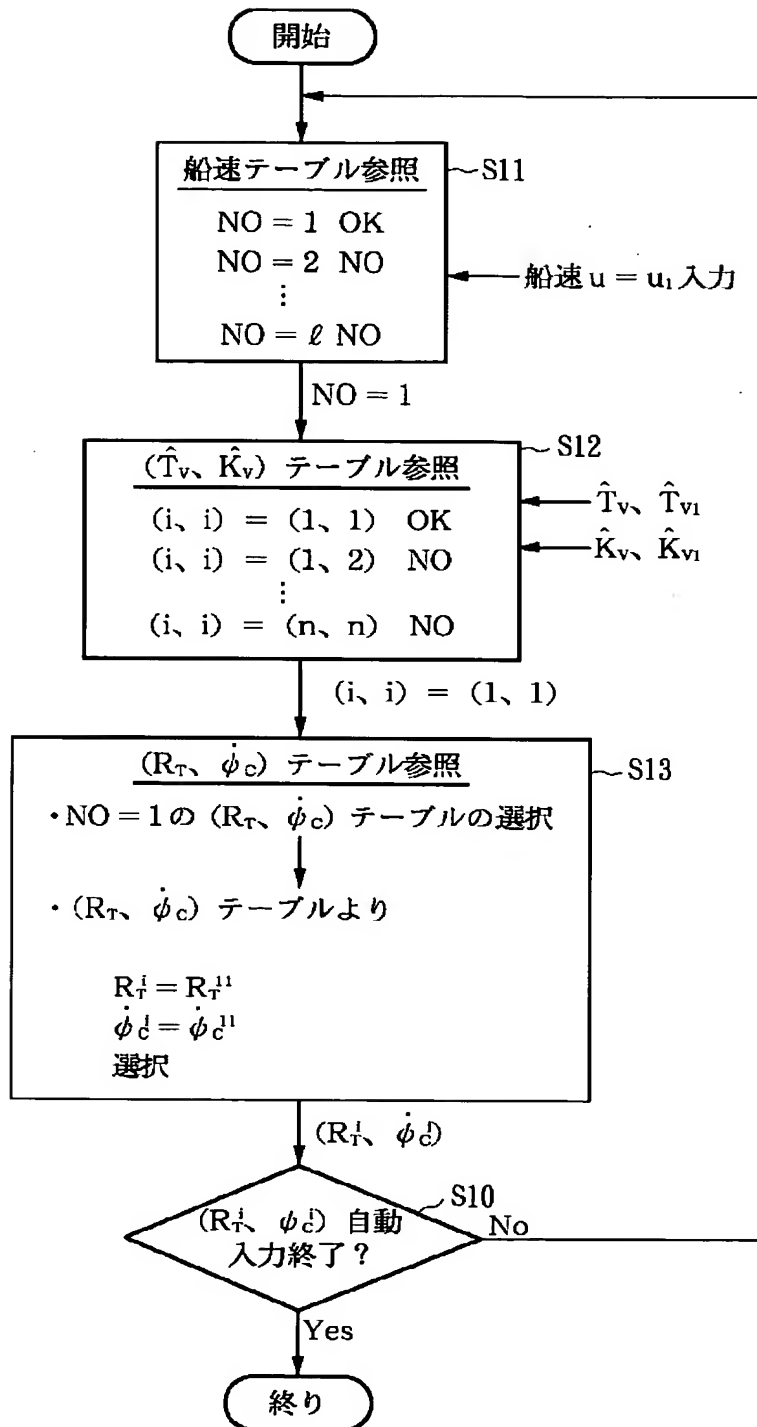
【図 7】



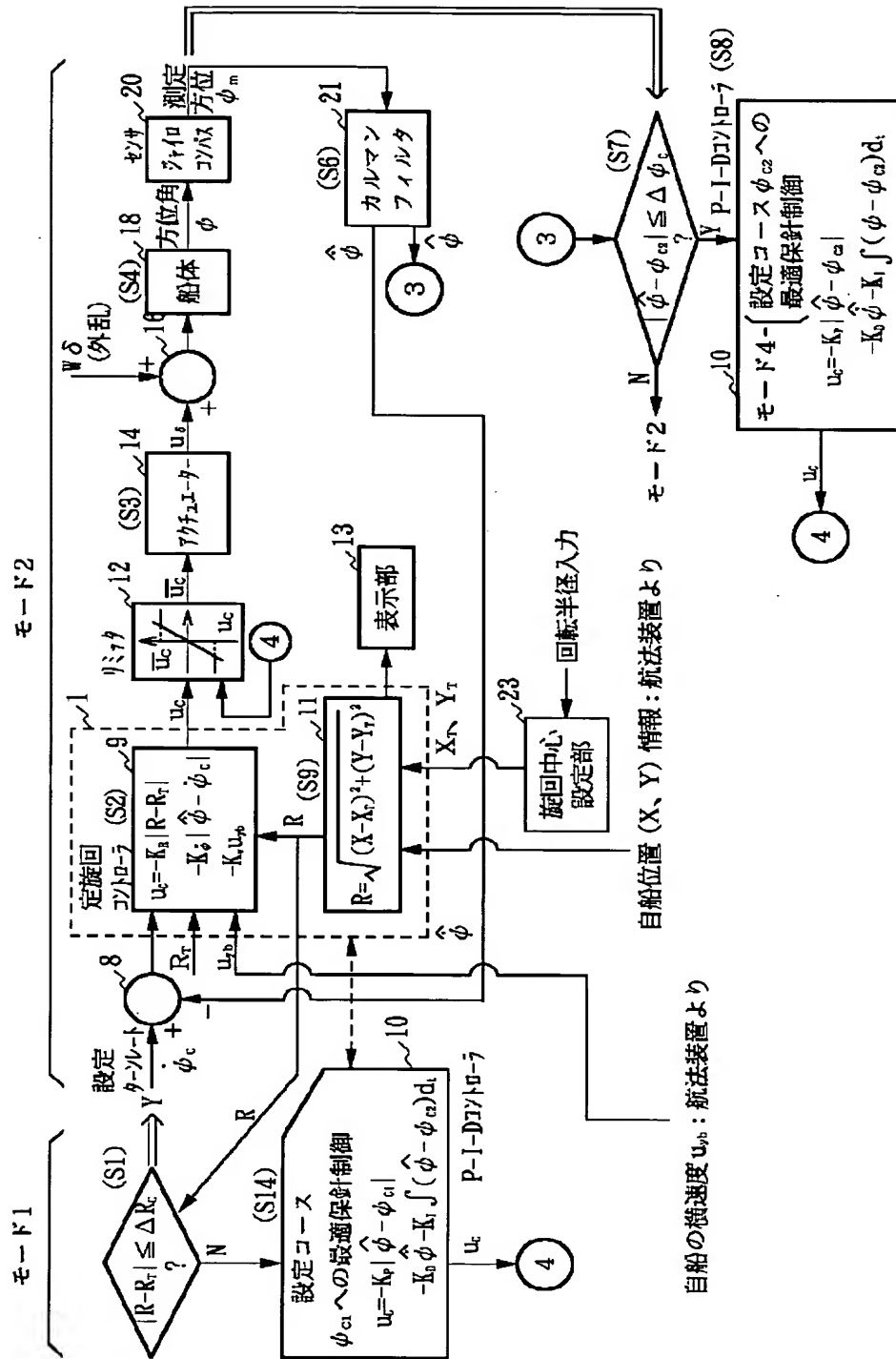
【図3】



【図 5】



【図 6】



【図 8】

従来例 測定情報および経験と勘に基づく（定速度 $\dot{\phi}_c$ 、定旋回半径 R_T の決定）

